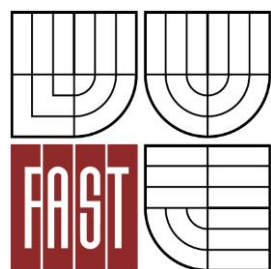




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

VYUŽITÍ MODERNÍCH KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ PŘI NÁVRHU BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

USE OF ADVANCED COMPOSITE MATERIALS FOR THE CONCRETE STRUCTURES DESIGN

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ ROČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK GIRGLE, Ph.D.

BRNO 2016



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608R001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav betonových a zděných konstrukcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Tomáš Roček

Název Využití moderních kompozitních materiálů při návrhu betonových konstrukcí

Vedoucí bakalářské práce Ing. František Girgle, Ph.D.

**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2015

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 27. 5. 2016

V Brně dne 30. 11. 2015

.....
prof. RNDr. Ing. Petr Štěpánek, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Stavební podklady v nutném rozsahu – tvarové řešení, půdorysy, řezy, geologie, apod.

Platné předpisy a normy (včetně změn a oprav):

ČSN EN 1990 včetně změn A1: Zásady navrhování konstrukcí;

ČSN EN 1991-1 až 7: Zatížení stavebních konstrukcí;

ČSN EN 1992-1-1: Navrhování betonových konstrukcí. Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby;

ČSN EN 206 Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda;

fib Bulletin no. 40: FRP reinforcement in RC structures;

ACI 440.1R-06: Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars.

Další literatura dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Zásady pro vypracování

Pro zadaný konstrukční prvek proveďte statický výpočet a návrh vyztužení. Návrh vyztužení proveďte pro betonářskou výztuž i dle alternativních návrhových postupů pro kompozitní výztužné vložky.

Ostatní činnosti a případná zjednodušení zadaného konstrukčního prvku provádějte v souladu s pokyny vedoucího bakalářské práce. Práce bude zpracována v rozsahu vědomostí, které odpovídají znalostem posluchače bakalářského studijního programu.

Požadované výstupy:

Textová část (obsahuje průvodní zprávu a ostatní náležitosti podle níže uvedených směrnic)

Přílohy textové části:

P1. Použité podklady, studie

P2. Statický výpočet

P3. Výkresová dokumentace

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy VŠKP (1x)

Popisný soubor závěrečné práce (1x)

Bakalářská práce bude odevzdána v listinné a elektronické formě a pro ÚBZK 1x na CD.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....
Ing. František Girgle, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem prefabrikované opěrné stěny ve dvou variantách vyztužení. První variantou je klasická betonářská výztuž a druhou jsou kompozitní výztužné vložky (GFRP). Opěrná stěna je umístěna v agresivním prostředí XD3. Je zde zpracován statický výpočet a výkresová dokumentace.

Klíčová slova

úhlová opěrná stěna, železobeton, FRP (Fiber Reinforced Polymer), zemní tlaky, vyztužení, návrh a posouzení, kompozitní výztuž

Abstract

The thesis deals with the design of prefabricated retaining wall in two options of reinforcement. The first one is classical concrete reinforcement and the second one is composite bars (GFRP). The retaining wall is placed in aggressive environment XD3. The thesis contains model calculation and drawings.

Keywords

angular retaining wall, reinforced concrete, FRP (Fiber Reinforced Polymer), earth pressures, reinforcement, design and assessment, composite bar

Bibliografická citace VŠKP

Tomáš Roček *Využití moderních kompozitních materiálů při návrhu betonových konstrukcí*.
Brno, 2016. 18 s., 62 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta
stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Ing. František Girgle, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9.5.2016

.....
podpis autora
Tomáš Roček

Poděkování:

Rád bych poděkoval panu Ing. Františku Girglemu, PhD. za ochotu, cenné rady a vstřícnost při vedení mé práce.

Dále děkuji své rodině za podporu při mém studiu.

Obsah

Úvod	9
Popis konstrukce	9
Materiály	9
Zatížení	10
Dimenzování výztuže	10
Provádění	11
Závěr	11
Seznam použitých zkratk a symbolů	13
Seznam příloh	18
Příloha P1	

Úvod

Bakalářská práce se zabývá návrhem prefabrikované opěrné stěny. Cílem práce bylo vypracovat dvě varianty vyztužení: varianta pro klasickou betonářskou výztuž a druhá varianta pro kompozitní výztužné vložky. Tvar, rozměry a okrajové podmínky konstrukce jsou stejné pro obě varianty návrhu. Posouzení konstrukce je provedeno dle platných norem. Pro variantu kompozitní výztuže se návrh řídí dle směrnice fib Bulletin No. 40 – FRP Reinforcement in RC Structures a dle technického listu výrobce výztuže – firmy Schöck.

Popis konstrukce

Jedná se o prefabrikovanou opěrnou stěnu výšky 4,45 m. Skladebná šířka prvku je 1,0 m, výrobní rozměr 0,99 m. Základová konstrukce stěny má délku 2,4 m. V patě stěny je výška průřezu 0,35 m, ovšem po výšce se zužuje až na hodnotu 0,19 m v dříku stěny.

Do konstrukce jsou osazeny 3 přepravní úchyty, dva umístěné ve dříku stěny a jeden ze shora základové části konstrukce.

Opěrná stěna je navržena na zadržení zeminy typu G3 – štěrk s příměsí jemnozrnné zeminy, která je ve svahu 20° od vrchní hrany stěny. Na zemině je uvažováno užité zatížení hodnoty 5 kN/m².

Prvek je navržen do agresivního prostředí XD3 – střídavě suché a mokré prostředí, koroze vyvolaná chloridy.

Materiály

Pro obě varianty vyztužení je použit beton třídy C35/45. První varianta vyztužení je z oceli B500B, druhá varianta z kompozitní GFRP výztuže Schöck ComBAR®.

BETON C35/45 – XD3

$f_{ck} =$	35 MPa	charakteristická pevnost betonu v tlaku
$f_{ctm} =$	3,2 MPa	pevnost betonu v tahu
$E_{cm} =$	34 GPa	modul pružnosti

$\varepsilon_{cu3} = 3,5 \text{ ‰}$ limitní přetvoření

OCEL B500B

$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ charakteristická hodnota meze kluzu

$E_s = 200 \text{ GPa}$ modul pružnosti

$\varepsilon_{yd} = 2,175 \text{ ‰}$ přetvoření výztuže při dosažení meze kluzu

GFRP ComBAR®

$f_{fuk} = 1100 \text{ MPa}$ charakteristická počáteční pevnost výztuže v tahu

$E_f = 60 \text{ GPa}$ modul pružnosti

$\varepsilon_{yd} = 14,1 \text{ ‰}$ limitní přetvoření

$R_{10} = 13 \text{ ‰}$ redukce tahové pevnosti za dekádu logaritmického času

Zatížení

Konstrukce je zatížena stálým a proměnným zatížením dle ČSN EN 1991.

Do stálého zatížení patří vlastní tíha konstrukce a aktivní zemní tlak. Proměnné zatížení je plošné na povrchu zeminy.

Pro návrh byly uvažovány kombinace dle 6.10a a 6.10b a dále charakteristická a kvazistálá kombinace zatížení.

Podrobněji je zatížení specifikováno ve statickém výpočtu.

Dimenzování výztuže

VARIANTA KLASICKÉ BETONÁŘSKÉ VÝZTUŽE

Krytí	45 mm
Hlavní nosná výztuž	$\phi 12/110$
Minimální výztuž	$\phi 8/110$
Výztuž v základové části	$\phi 10/110$
Rozdělovací výztuž	$\phi 8/240$

VARIANTA GFRP VÝZTUŽE

Krytí	15 mm
Hlavní nosná výztuž	$\phi 12/120$
Minimální výztuž	$\phi 12/240$
Výztuž v základové části	$\phi 12/240$
Rozdělovací výztuž	$\phi 12/300$

Provádění

Prvek je betonován v pozici nastojato. Probíhají 2 fáze betonáže. V první fázi se provede betonáž základové konstrukce prvku. Ve druhé se betonuje samotná stěna.

Bednění musí být dostatečně tuhé, bez vad a musí zajistit konstrukci předepsaný tvar. Povrchová úprava prefabrikátu bude provedena dle výkresu tvaru.

Výztuž bude kladena dle výkresové dokumentace. Vzhledem k tomu, že je prvek určen do agresivního prostředí, je obzvláště nutné zajistit požadované krytí výztuže.

Betonáž probíhá tak, aby bylo zajištěno požadované zhutnění a aby kvalita betonu byla stejná ve všech částech konstrukce.

Manipulace s prefabrikátem je povolena až po dosažení požadované pevnosti betonu v tlaku 25 MPa. Prvek se přepravuje pomocí závěsných lan, osu přepravního lana je nutno umístit nad těžiště dílce.

Závěr

U obou variant byla konstrukce navržena a posouzena na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti – šířku trhlin, u kterého jsem předpokládal, že bude rozhodující pro návrh prvku.

Výpočet zatížení byl proveden shodný pro obě varianty a byl ověřen v geotechnickém programu GEO5 s odpovídajícími výsledky.

Ve variantě klasické betonářské výztuže byla maximální povolená šířka trhliny 0,3 mm splněna pro výztuž $\phi 12/110$ mm navrhovanou na mezní stav únosnosti.

Pro mezní stav únosnosti kompozitní výztuže jsem zpracoval návrh pro krátkodobou i dlouhodobou únosnost prvku. Tento postup je dán materiálovými charakteristikami kompozitní výztuže, které se v čase mění. Podrobněji je toto chování a další specifikace kompozitních vložek popsána v příloze této práce.

U kompozitní výztuže jsem musel původně navrhovanou výztuž na mezní stav únosnosti změnit, abych splnil kritérium maximální šířky trhliny 0,7 mm, která je oproti první variantě zvýšena díky nekorodující výztuži. Pro splnění šířky trhliny musela být navržena výztuž $\phi 12/120$ mm. Rozhodujícím kritériem by pro kompozitní výztuž nejspíše byl průhyb stěny ve vrchní části konstrukce, tak jak je popsáno ve statickém výpočtu.

Pro obě varianty byla vypracována výkresová dokumentace: výkres tvaru a výkres vyztužení.

Seznam použitých zkratk a symbolů

index f	vlastnost FRP výztuže
index s	vlastnost ocelové výztuže
GFRP	polymery vyztužené skleněnými vlákny
FRP	polymery vyztužené vlákny
EQU	mezí stav statické rovnováhy
GEO	mezí stav porušení nebo nadměrné přetvoření základové půdy

Písmena latinské abecedy

a_s	vzdálenost výztuže od těžiště betonového průřezu
A_{bar}	plocha jednoho prutu FRP výztuže
A_c	plocha betonu
$A_{c,\text{eff}}$	efektivní plocha betonu
A_f	navržená plocha FRP
$A_{f,\text{min}}$	minimální plocha FRP
A_i	plocha ideálního průřezu
A_s	navržená plocha výztuže
$A_{s,\text{req}}$	požadovaná plocha výztuže
B	šířka
c_d	výpočtová hodnota soudržnosti zeminy
c_{min}	minimální krycí vrstva výztuže
d	účinná výška průřezu
d_b, d_c, d_d	součinitele vlivu hloubky založení
e	excentricita zatížení
$E_{d,\text{dst}}$	návrhový destabilizační moment
$E_{d,\text{stb}}$	návrhový stabilizační moment
E_{cm}	modul pružnosti betonu
E_f	modul pružnosti kompozitu

E_s	modul pružnosti výztuže
f_{cd}	návrhová pevnost v tlaku betonu
f_{ck}	charakteristická pevnost v tlaku betonu
f_{ctm}	střední pevnost v tahu betonu
f_{ctd}	návrhová pevnost v tahu betonu
$f_{ctk, 0,05}$	pětiprocentní kvantil pevnosti v tahu betonu
f_{bd}	návrhové mezní napětí v soudržnosti
$f_{fk, 1000h}$	charakteristická pevnost v tahu FRP výztuže v čase 1000 hodin
f_{fd}	návrhová pevnost FRP výztuže v tahu
f_{fud}	návrhová počáteční pevnost FRP výztuže v tahu
f_{fuk}	charakteristická počáteční pevnost FRP výztuže v tahu
f_{yk}	návrhová mez kluzu výztuže
f_{yk}	charakteristická mez kluzu výztuže
F_{bar}	síla v jednom prutu FRP výztuže
F_{head}	síla přenášená kotevní hlavicí FRP výztuže
F_C	síla v tlačené části betonu
F_T	síla ve výztuži
G	vlastní tíha
H	výška
h	výška průřezu
$h_{c,eff}$	efektivní výška průřezu
H_{Ed}	návrhová vodorovná síla
i_b, i_c, i_d	součinitele vlivu šikmého zatížení
I_c	moment setrvačnosti betonu
I_{ci}	moment setrvačnosti ideálního průřezu
I_{cr}	moment setrvačnosti průřezu porušeného trhlinami

K_a	součinitel aktivního zemního tlaku
l_{0d}	návrhová délka přesahu prutů
$l_{b,min}$	minimální kotevní délka
$l_{b,rqd}$	požadovaná kotevní délka
l_{bd}	návrhová kotevní délka
M_{cr}	moment na mezi vzniku trhliny
M_{Ed}	návrhový moment
M_{Ek}	návrhový moment od charakteristické kombinace zatížení
M_{Ey2}	návrhový moment od kvazistálé kombinace zatížení
M_{Rd}	moment na mezi únosnosti
n	součinitel
n_{mo}	součinitel vlivu vlhkosti
n_{SL}	součinitel návrhové životnosti
n_T	součinitel průměrné roční teploty
N_b, N_c, N_d	součinitel únosnosti základové půdy, funkčně závislé od úhlu vnitřního tření
N_{Ed}	návrhová svislá síla
R_{10}	redukce tahové pevnosti za dekádu logaritmického času
R_d	únosnost základové spáry
$R_{d,h}$	odolnost proti usmýknutí
S_a	výslednice aktivního zemního tlaku
S_b, S_c, S_d	součinitele vlivu tvaru základu
s_{rm}	maximální vzdálenost mezi trhlinami
S_q	přírůstek aktivního zemního tlaku os proměnného zatížení
t	tloušťka
t_i	vzdálenost těžiště ideálního průřezu od těžiště betonového průřezu

w_{cr}	šířka trhlin pro FRP výztuž
w_k	šířka trhlin
x	poloha neutrální osy
x_{bal}	poloha neutrální osy při balančním stupni vyztužení
x_r	poloha neutrální osy průřezu porušeného trhlinami
z	rameno vnitřních sil

Písmena řecké abecedy

α	úhel pro určení aktivního klínu zeminy
α_e	poměr modulů pružnosti
β	úhel odklonu povrchu terénu od vodorovné roviny
γ	objemová tíha
γ_f	součinitel spolehlivosti FRP
γ_G	součinitel spolehlivosti stálého zatížení
γ_Q	součinitel spolehlivosti proměnného zatížení
γ_φ	součinitel spolehlivosti úhlu vnitřního tření zeminy
$\gamma_{c'}$	součinitel spolehlivosti efektivní soudržnosti
γ_{cu}	součinitel spolehlivosti neodvodněné smykové pevnosti
γ_{qu}	součinitel spolehlivosti pevnosti v prostém tlaku
γ_γ	součinitel spolehlivosti objemové tíhy
$\gamma_{R,v}$	součinitel spolehlivosti únosnosti
$\gamma_{R,h}$	součinitel spolehlivosti usmýknutí
δ	třecí úhel mezi konstrukcí a zeminou
ε_c	poměrné přetvoření betonu
ε_{cu}	maximální poměrné přetvoření betonu

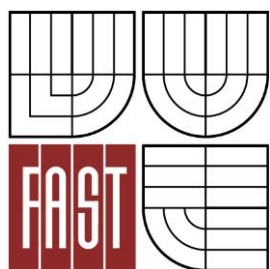
ε_{cm}	průměrné poměrné přetvoření betonu mezi trhlinami
ε_{fd}	mezní přetvoření FRP výztuže
ε_{fm}	průměrné poměrné přetvoření FRP výztuže
ε_s	přetvoření výztuže
ε_{sm}	průměrné poměrné přetvoření výztuže
ε_{yd}	přetvoření při dosažení meze kluzu
η_{env}	součinitel vlivu prostředí
$\rho_{p,eff}$	efektivní stupeň vyztužení
σ_d	návrhové napětí v základové spáře
σ_f	napětí v FRP výztuži
σ_{fr}	napětí v FRP výztuži před vznikem trhlin
σ_s	napětí ve výztuži
φ	úhel vnitřního tření
ϕ	průměr výztuže
ϑ_a	úhel, který svírá kritická smyková rovina (aktivní zemní tlak) s vodorovnou rovinou
ϑ_{as}	úhel, který svírá sdružená smyková rovina (aktivní zemní tlak) s vodorovnou rovinou

Seznam příloh

- P1. Použité podklady
- P2. Statický výpočet
- P3. Výkresová dokumentace
- P4. Navrhování FRP výztuže v betonových konstrukcích
- P5. Přílohy statického výpočtu



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

P1. POUŽITÉ PODKLADY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

TOMÁŠ ROČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. FRANTIŠEK GIRGLE, Ph.D.

BRNO 2016

Seznam použitých zdrojů

- [1] ČSN EN 1990. *Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 97 s.
- [2] ČSN EN 1991-1-1. *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2004, 43s.
- [3] ČSN EN 1992-1-1. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí*. Praha: Český normalizační institut, 2006. 210 s.
- [4] ČSN 73 0037. *Zemní tlak na stavební konstrukce*. Praha: Český normalizační institut, 1990, 52 s.
- [5] ACI 440.1R-06. *Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2003, 42 s. : il. ISBN 0-87031-118-2.
- [6] Fib Bulletin No. 40: *FRP reinforcement in RC structures: technical report prepared by a working party of Task Group 9.3, FRP (Fibre Reinforced Polymer) reinforcement for concrete structures*. Lausanne: International Federation for Structural Concrete, 2007. Bulletin Fédération internationale du béton. ISBN 978-2-88394-080-2.
- [7] *Manuál na navrhovanie GFRP výstuže do betónových konštrukcií*. 1. vyd. Bratislava : Slovenská komora stavebných inžinierov, 2015. 80 s. ISBN 978-80-8076-117-2.
- [8] JANUŠ, Ondřej. *Navrhování konstrukcí s FRP výztuží*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební, 2016.

[9] ZICH, Miloš a Zdeněk BAŽANT. *Plošné betonové konstrukce, nádrže a zásobníky*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010, 161 s. : il. ISBN 978-80-7204-693-5.

[10] ZICH, Miloš. *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*. Praha: Dashöfer, 2010, 145 s. : il. ISBN 978-80-86897-38-7.

[11] MASOPUST, Jan. *Navrhování základových a pažicích konstrukcí: příručka k ČSN EN 1997*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2012, 208 s.

[12] SCHÖCK COMBAR[®]: *Technical information*. Prosinec 2015, 40s.